

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05976

研究課題名(和文) フェナセンを拡張モチーフとして活用する有機エレクトロニクスへの挑戦

研究課題名(英文) Challenge for constructing novel organic electronic materials utilizing phenacene as the extended pi-motif

研究代表者

岡本 秀毅 (Okamoto, Hideki)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：30204043

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：有機エレクトロニクス分野において高性能有機半導体材料が求められることを背景に、フェナセンの拡張モチーフを活用して高性能有機物半導体構築を検討した。Mallory光反応を鍵段階として種々の拡張されたフェナセン及び官能基化されたフェナセンを合成した。機能化フェナセンを電界効果型トランジスタ(FET)の活性層に用いてデバイス性能を評価した結果、フェナセンモチーフに基づくFETデバイスは高い電荷移動度を示した。また、フェナセンをp型材料として有機ロジック回路の作製も可能であった。フェナセンのモチーフに基づくFET材料は今後の高耐久性、高速動作が可能な有機半導体材料として有用であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高度に拡張されたフェナセンや、適切に機能化されたフェナセンの合成は一般に困難であるが、合成の最終段階にMallory光反応を活用して種々の機能化フェナセンを合成する手法を確立した。合成したフェナセンは、高性能FETデバイスの活性層として有効であることを実験的に示すことができた。また、フェナセンをp型半導体として用い、有機演算回路を構築することも可能になった。現在、高性能有機半導体材料は、軽量・超小型電子デバイスの作製などのために社会的にも渴望されている。本研究課題の成果は、有機半導体分子の設計や供給の観点から学術的、社会的に寄与すると期待される。

研究成果の概要(英文)：High performance organic semiconductors have been desired in current organic electronics. In the present study, synthetic strategy of functionalized phenacenes as novel organic semiconductors was established. Namely, Mallory photoreaction was used as the key step of constructing phenacene frameworks. Field-effect transistors were fabricated by using the synthesized phenacenes and their performance was evaluated to demonstrate that the phenacene-based organic semiconductors were promising as active layer of FETs. The results obtained in this project will significantly contribute for molecular design and fabrication of future high-performance FET materials.

研究分野：有機化学

キーワード：有機エレクトロニクス フェナセン 電界効果型トランジスタ 光化学反応 多環芳香族化合物 FET

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有機物半導体は電子デバイスの軽量化、小型化、作製エネルギーの削減などを可能にすることから社会的にも求められている。ペンタセンに代表されるアセン分子を用いた高性能有機電界効果型トランジスタ (FET) の報告以来、多くの有機 FET 材料が報告されてきた。特に、瀧宮等の研究に代表されるヘテロ原子 (硫黄) を含む BTBT や DNNT 等の多環状芳香族化合物が高性能 FET 材料開発の主流であった (図 1)。^{1,2}

本研究代表者は、ベンゼン環がジグザグに縮環するフェナセンが有機 FET の活性層として有効であることを見だし、³ ヘテロ原子に依存しない芳香族炭化水素に立脚する FTE 材料の開発を行い、特に、フェナセン類が FET 材料として有望であることを見出した。

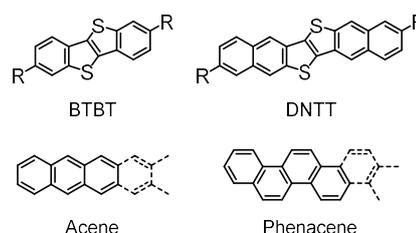


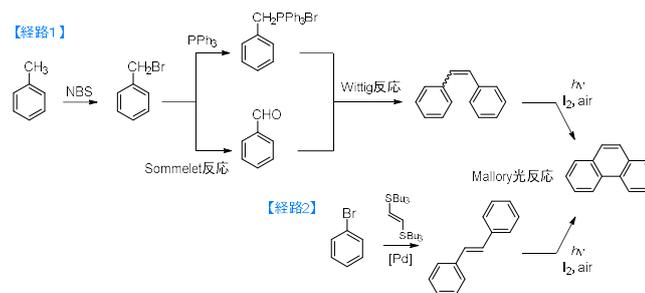
図 1. 先駆的な含硫黄 FET 分子、およびアセン、フェナセンの分子構造。

2. 研究の目的

本研究課題では、フェナセンが化学的、物理的に極めて安定な分子であり、FET 材料として有望であることから、フェナセンを用いて新たな有機電子材料を構築することを目的とした。主な検討内容は以下の三点である。(i) π 共役が拡張した無置換の高次フェナセンの合成と適切に化学修飾されたフェナセンを合成する方法論を確立すること。(ii) 合成したフェナセン分子が有機電子材料として実際に有効であるかどうかを、FET デバイスを作製し動作特性を評価すること。(iii) 得られた特性を次世代の FET 材料設計へフィードバックすること。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、有機合成、電子特性解析、デバイス作製と評価を可能にする研究分担者 (山路 稔, 群馬大学) と連携研究者 (久保園芳博, 岡山大学) からなる研究体制で本研究課題を遂行した。種々のフェナセン類は最終段階に Mallory 光反応⁴ を用いて構築した。フェナセン類は一般に溶解性が低いので、通常の熱反応や触媒半を合成の最終段階に組み入れると、分離精製ができなことが問題である。今回、合成の最終段階を光環化反応とすることで、試薬や触媒の残渣が出ない理想的な合成戦略に基づいてフェナセン合成を行った (図 2)。



Mallory 光環化の基質となるジアリールエテンは Wittig 反応あるいは、プロモアレーンとジスタンニルエテンとの Stille 反応によって簡便に合成した。フェナセン類の基礎的な電子特性は薄膜あるいは固体の吸収、蛍光スペクトルにより観測した。フェナセン類の固体構造は、薄膜あるいは粉末の X 線回折により解析した。FET デバイスは、 SiO_2 、 ZrO_2 等の絶縁体上に昇華で薄膜を作製あるいは単結晶をのせ、金属電極を付加して作製した。

4. 研究成果

(1) 長い共役を持つフェナセンの合成と構造解析⁵

長い共役を有するフェナセンは有機半導体材料として有用であることを示してきた。従来、アルキル基を有するフェナセンに対しては [11] フェナセン誘導体が最長であった。⁶ 最近、分子の長軸に直交する方向へアミド置換基を有するフェナセンの合成が報告された。⁷ 現在最長のフェナセン骨格として [20] フェナセン誘導体が合成されている。⁸ これらの共役拡張フェナセンはいずれも分子長軸に直交する方向に置換基を有するために分子が平面からねじれ、フェナセン固有の電子特性が失われている。⁶ 本研究では、フェナセン固有の π 共役系の合成と、電子特性、半導体特性を評価するため、無置換の高次フェナセンを合成することとした (図 3)。

前駆体となる化合物 A, B の Mallory 光環化反応により [10] および [11] フェナセンの合成に成功した。これらは、置換基を持たない母体化合物としては世界最大のフェナセンである。MALDI-TOF MS によりこれらの生成を確認した。特に、[10] フェナセンについては走査トンネル顕微鏡 (STM) により分子構造を直接観測することに成功した。

(2) 高次フェナセンの電子構造

[10] および [11] フェナセンの電子特性を、薄膜の吸収スペクトルにより評価した。これらのフェナセンは 3.1-3.0 eV に吸収極大を示し、フェナセンのベンゼン環数増加に応じて徐々に低エネルギーへシフトすることを明らかにした。[11] フェナセンは、無置換フェナセンとしては最長の π 共役を有している。フェナセンの電子スペクトルの顕著な特徴として、 π 系の共役が伸張しても吸収スペクトルは紫外領域にあり、高いオプティカルギャップを保つことが示された。この特性は、半導体に応用する際に、高いエネルギーギャップを持つ、安定な材料として用いることが

できることを示唆している。

(3) 高次フェナセンの半導体特性評価

[10]および[11]フェナセンの薄膜電界効果型トランジスタ(FET)デバイスを作成し、p型デバイス特性を評価した。これらのデバイスは $3.1 \times 10^{-2} \sim 1.1 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ の良好な移動度を示した。さらに、デバイスの高性能化を目指して電気二重層(EDL)薄膜EFTデバイスを作成し、特性を評価した。[10]および[11]フェナセンのEDL-FETデバイスの電荷移動度はそれぞれ $3 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 、 $1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であり、薄膜デバイスより高速作動可能であることを見いだした。 π 共役フェナセンは、共役系の拡大と共に単結晶FETデバイスの移動度が向上する傾向が見いだされていた。⁹[10]、[11]フェナセンにおいてもその延長で単結晶FETデバイスにおいて高い移動度が得られると期待されたが、これらの化合物に対してはFETデバイスに適用できる単結晶を得ることはできなかった。おそらくは高すぎる結晶性のため、適切な品質の単結晶が作成できなかったものと考えられる。

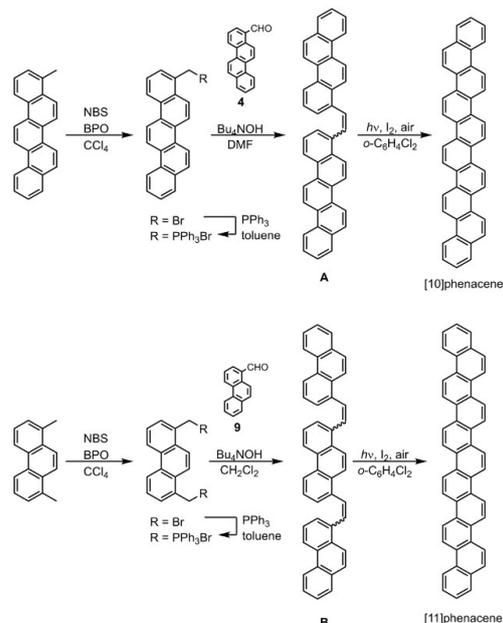


図3. [10]及び[11]フェナセンの合成。

(4) 長鎖アルキル基を有する[7]フェナセン (($\text{C}_{14}\text{H}_{29}$)₂-[7]フェナセン) の合成と構造解析

有機半導体分子の末端に長鎖アルキル基を導入することは、高性能有機FET材料の設計手法として一般的に用いられてきた。¹⁰瀧宮や岡本等によるBTBTと関連分子の化学修飾がその先駆的研究として挙げられる。^{11,12}フェナセンにおいても、分子両端にテトラデシル基を有するピセンを用いて、極めて高い移動度を持つ薄膜FETを作製することができる。¹³本研究では、フェナセンの π 系拡張の効果と、長鎖アルキル基の効果を融合させ、高性能FET材料を構築することを試みた。図4(a)に示す経路でテトラデシル基を持つ[7]フェナセン ($\text{C}_{14}\text{H}_{29}$)₂-[7]フェナセン) を合成した。この分子に関しては、STMイメージングにより直接分子構造を観測することができた(図4(b))。

(5) ($\text{C}_{14}\text{H}_{29}$)₂-[7]フェナセンのFETデバイス特性評価

($\text{C}_{14}\text{H}_{29}$)₂-[7]フェナセンを活性層に用いて薄膜FETデバイスを作製し、その動作特性を評価した。SiO₂を基板として用いたデバイスは典型的なp型の動作を示した(図4(c))。移動度の最大値は $2 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ に達し、良好な移動度を示した。長鎖アルキル置換基の効果を確認するために、無置換の[7]フェナセンのデバイス特性を同様の条件下で評価した。置換基を持たない[7]フェナセンの薄膜FETデバイスの移動度の最大値は $0.9 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった。この結果は、フェナセン分子に長鎖アルキル基を導入することによってより高性能な薄膜FETデバイスを作製できることを示している。フェナセンを基盤とする有機FET材料の高性能化に長鎖アルキル基の導入が有効であることから、今後の分子設計の基盤が得られたと考えられる。

(6) フェナセンを用いるn型FET材料の合成¹⁴

フェナセンを用いて新しい新しい有機電子材料開拓に挑戦するために、n型FET材料の構築を検討した。n型有機半導体は有機物

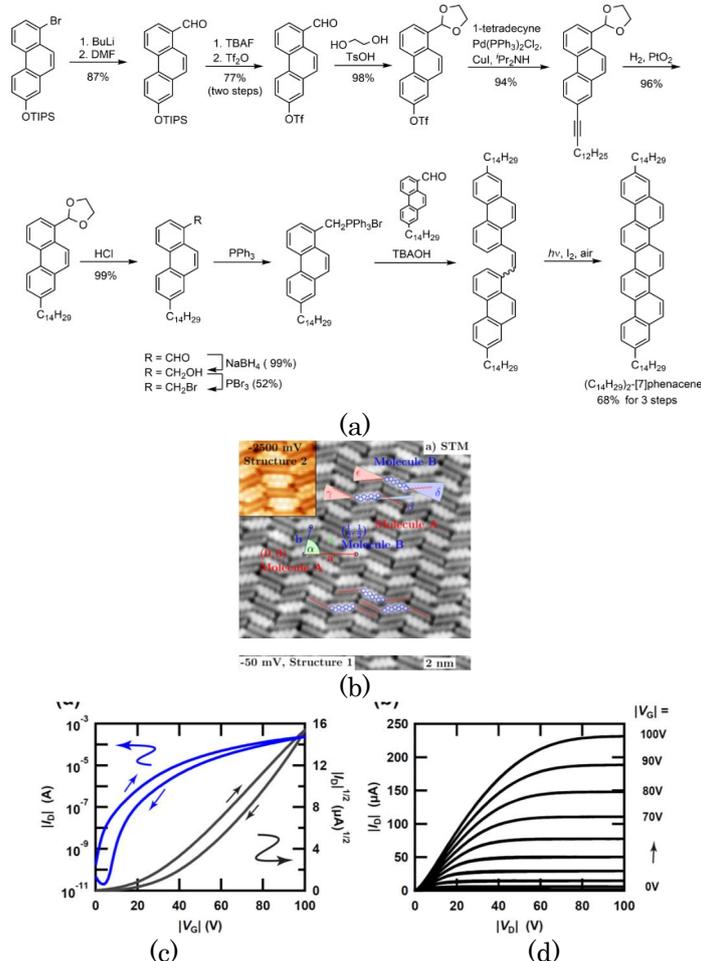


図4. ($\text{C}_{14}\text{H}_{29}$)₂-[7]フェナセンの合成(a), STMイメージ(b)および、薄膜FETデバイスの伝達特性(c)と出力特性(d)。

を用いてフレキシブル回路を作製するために望まれているが、p型に比べて、開発が遅れている。従来、低分子多環芳香族化合物に基づくn型材料は、その骨格に強力な電子求引部位を導入して構築されてきた。特に、DNIやPDCI等の芳香族イミド化合物はその代表例である。¹⁵今回、フェナセン骨格にイミド部位を導入して、n型で動作するFET材料を構築した(図5(a))。前駆体となるジナフチルエテンを合成するために、臭素置換されたナフタリイミドとビス(トリブチルスタンニル)エテンとのStilleカップリングを用いた(図2, 経路2)。最終段階にMallory光反応を用い、効率よくイミド置換されたピセン(Cn-PicDI)を得ることができた。分子長軸方向にイミド置換されたフェナセンは文献に報告されていなかった。

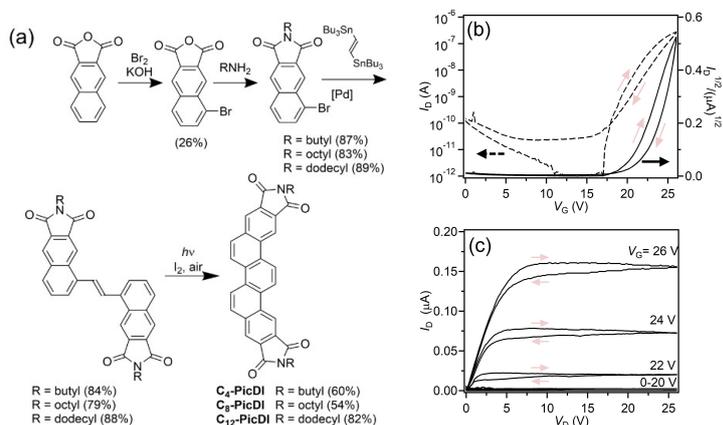


図5. Cn-PicDIの合成(a), 薄膜FETデバイスの伝達特性(b)と出力特性(c).

(7) Cn-PicDIのn型FET特性

図5(b, c)にC8-PicDIの薄膜FET特性を示す。このデバイスはn型で動作することが認められた。従来、フェナセンを用いたn型FETデバイスの報告例はなく、Pn-PicDIはフェナセンに基づくn型FET材料の初めての例である。

C8-PicDIの電子移動度の最高値は $0.2 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった。この値は、現在n型FET材料として広く用いられているペリレンジカルボキシイミドC8PDCIを活性層とするn型FETデバイスと同等の値であり、フェナセンを用いてn型FETデバイスを構築できることを示した。

イミド部位のアルキル鎖の長さの効果を検討したところ、アルキル基はCn-PicDIの電子構造には影響を与えないが、固体中での分子のパッキングに影響を与える可能性が示唆された。それに伴って、FETデバイスの電子移動度は、オクチル基を持つC8-PicDIが最も高いことが明らかとなった。単結晶X線回折に適した単結晶が得られなかったため、結晶構造がFET特性に与える影響は現在のところわかっていない。

(8) アセンとフェナセン、ハイブリッド型分子の合成¹⁶

フェナセンが優れたFET材料であることを基に、新しい有機半導体分子を創成することを目的として、アセンとフェナセンの構造的特徴を合わせ持つ、ハイブリッド型分子を合成し、そのFET材料としてのポテンシャルを調べた。

図6(a)に示す経路にしたがって、アントラセン(アセン)と[5]~[7]フェナセンのハイブリッド型分子BD[n]Pを合成した。

(9) DBnPの単結晶FET特性

図6(b)~(d)にDB6Pの単結晶を用いたFETデバイスの写真と動作特性を示す。このデバイスはp型で安定に動作することが確認された。DB5P, DB6P, DB7Pに対して平均の電荷移動度は $1.7 \sim 2.0 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ でありいずれの分子を用いても高い電荷移動度を示す。デバイスの性能をReliable mobility¹⁷によって総合的に評価した場合、DB6Pが最も高い性能を示すことがわかった。この結果は、DBnP分子の対称性由来すると考えられる。すなわち、C_{2h}のDB6PはC_{2v}のDB5PとDB7Pに比べ、固体中で分子間での電荷の移動に有利なパッキングが可能になっていると推測している。

この結果は、高性能FET材料の開拓において、分子自身の

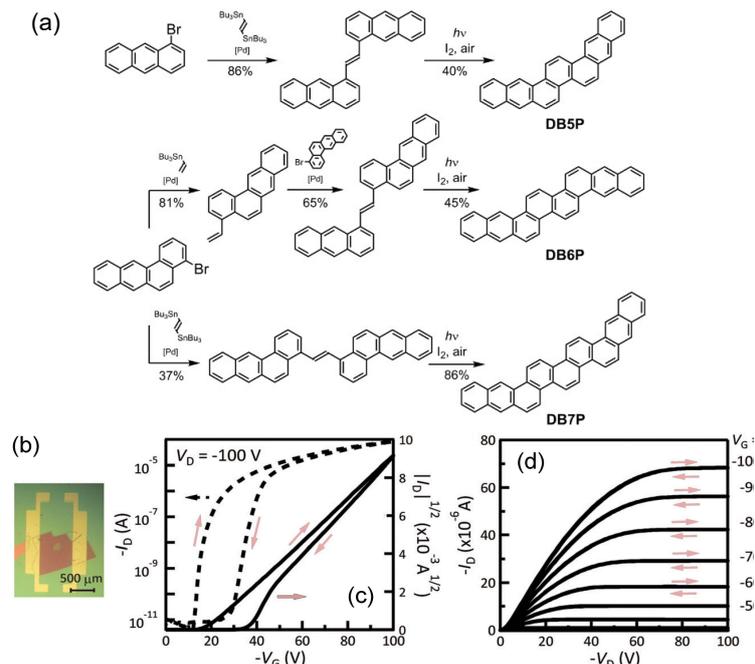


図6. DBnPの合成(a), 作製したDB6Pの単結晶FETデバイス(b)および伝達特性(c)と出力特性(d).

電子的特性に加え、分子の対称性に依存する結晶構造が FET 性能を左右する可能性を示唆しており、今後の有機 FET 材料の設計の指針の一つとなると考えられる。

(10) フェナセンを用いた有機電子回路の構築^{18,19}

p 型半導体と n 型半導体を組み合わせることで演算回路を構築することが可能である。有機半導体材料を用いることでフレキシブル回路を駆逐することが可能になる。[6]フェナセンを p 型材料として、N,N'-dioctyl-3,4,9,10-perylenedicarboximide (PTCDIC8)を n 型材料として用いて、フレキシブル CMOS インバーターを構築した。この回路のゲインは 300 であった。また、[6]フェナセンあるいは 3,10-ジテトラデシルピセンと PTCDIC8 をそれぞれ p 型、n 型半導体として Ring Oscillator を作製した。これらの回路は 20 Hz を越える f_{osc} で安定に動作することが確認された。したがって、フェナセンを p 型半導体として有機電子回路を構築できる可能性が示された。

(11) まとめ

本研究課題では、フェナセンの電子的および構造的特性を活用して新しい有機電子材料を創出することを目標とした。高度に π 拡張されたフェナセンや、適切に機能化されたフェナセンの合成は一般に困難であるが、合成の最終段階に Mallory 光反応を活用して種々の機能化フェナセンの合成に成功した。合成したフェナセンは、高性能 FET デバイスの活性層として有効であることを実験的に示すことができた。また、フェナセンを p 型半導体として用い、有機演算回路を構築することも可能になった。有機半導体材料の高性能化は、現在、軽量・超小型電子デバイスを作製するために社会的に渴望されている。本研究課題の成果は、そのような将来の高性能有機半導体材料の合成とデバイスの高性能化に寄与すると期待される。

参考文献

1. H. Ebata, T. Izawa, E. Miyazaki, K. Takimiya, M. Ikeda, H. Kuwabara, T. Yui, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 15732–15733.
2. T. Yamamoto, K. Takimiya, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 2224–2225.
3. H. Okamoto, N. Kawasaki, Y. Kaji, Y. Kubozono, A. Fujiwara and M. Yamaji, *J. Am. Chem. Soc.*, 2008, 130, 10470-10471.
4. F. B. Mallory and C. W. Mallory, *Org. React.*, 1984, 30, 1-456.
5. H. Okamoto, S. Hamao, K. Kozasa, Y. Wang, Y. Kubozono, Y.-H. Pan, Y.-H. Yen, G. Hoffmann, F. Tani, K. Goto, *J. Mater. Chem. C*, 2020, 8, 7422–7435.
6. F. B. Mallory, K. E. Butler, A. C. Evans, E. J. Brondyke, C. W. Mallory, C. Yang, A. Ellenstein, *J. Am. Chem. Soc.* 1997, 119, 2119-2124
7. T. S. Moreira, M. Ferreira, A. Dall'armellina, R. Cristiano, H. Gallardo, E. A. Hillard, H. Bock and F. Durola, *Eur. J. Org. Chem.*, 2017, 4548–4551.
8. G. Naulet, S. Huet-Exiga, H. Bock and F. Durola, *Org. Chem. Front.*, 2019, 6, 994.
9. Y. Shimo, T. Mikami, S. Hamao, H. Goto, H. Okamoto, R. Eguchi, S. Gohda, Y. Hayashi, Y. Kubozono, *Sci. Rep.*, 2016, 6, 21008.
10. H. Inokuchi, G. Saito, P. Wu, K. Seki, T. B. Tang, T. Mori, K. Imaeda, T. Enoki, Y. Higuchi, K. Inaka and N. Yasuoka, *Chem. Lett.*, 1986, 1263–1266.
11. K. Takimiya, I. Osaka, T. Mori and M. Nakano, *Acc. Chem. Res.*, 2014, 47, 1493–1502.
12. T. Okamoto, C. P. Yu, C. Mitsui, M. Yamagishi, H. Ishii, J. Takeya, *J. Am. Chem. Soc.* 2020, 142, 20, 9083–9096.
13. H. Okamoto, S. Hamao, H. Goto, Y. Sakai, M. Izumi, S. Gohda, Y. Kubozono and R. Eguchi, *Sci. Rep.*, 2014, 4, 5048.
14. Y. Guo, K. Yoshioka, S. Hamao, Y. Kubozono, F. Tani, K. Goto, H. Okamoto, *RSC Adv.*, 2020, 10, 31547–31552.
15. M. A. Kobaisi, S. V. Bhosale, K. Latham, A. M. Raynor and S. V. Bhosale, *Chem. Rev.*, 2016, 116, 11685–11796.
16. Y. Zhang, R. Eguchi, S. Hamao, K. Goto, F. Tani, M. Yamaji, Y. Kubozono, H. Okamoto, *Chem. Commun.*, 2021, 57, 4768–4771.
17. H. H. Choi, K. Cho, C. D. Frisbie, H. Sirringhaus, and V. Podzorov, *Nat. Mater.*, 2018, 17, 2-7.
18. N. Fioravanti, L. Pierantoni, D. Mencarelli, C. Turchetti, S. Hamao, H. Okamoto, H. Goto, R. Eguchi, A. Fujiwara, Y. Kubozono, *RSC Adv.*, 11, 7538–7551.
19. E. Pompei, C. Turchetti, S. Hamao, A. Miura, H. Goto, H. Okamoto, A. Fujiwara, R. Eguchi, Y. Kubozono, *J. Mater. Chem. C*, 2019, 7, 6022–6033.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hideki Okamoto, Shino Hamao, Keiko Kozasa, Yanan Wang, Yoshihiro Kubozono, Yong-He Pan, Yu-Hsiang Yen, Germar Hoffmann, Fumito Tani, Kenta Goto	4. 巻 8
2. 論文標題 Synthesis of [7]phenacene incorporating tetradecyl chains in the axis positions and its application in field-effect transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 7422-7435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0tc00272k	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Afra Al Ruzaiqi, Hideki Okamoto, Yoshihiro Kubozono, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, Peter Baran, Helena Gleskova	4. 巻 73
2. 論文標題 Low-voltage organic thin-film transistors based on [n]phenacenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Org. Electron.	6. 最初と最後の頁 286 - 291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2019.06.021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Emanuela Pompei, Claudio Turchetti, Shino Hamao, Akari Miura, Hidenori Goto, Hideki Okamoto, Akihiko Fujiwara, Ritsuko Eguchi, and Yoshihiro Kubozono	4. 巻 7
2. 論文標題 Fabrication of flexible high-performance organic field-effect transistors using phenacene molecules and their application toward flexible CMOS inverters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 6022 - 6033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8tc05824e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Okamoto Hideki, Hamao Shino, Eguchi Ritsuko, Goto Hidenori, Takabayashi Yasuhiro, Yen Paul Yu-Hsiang, Liang Luo Uei, Chou Chia-Wei, Hoffmann Germar, Gohda Shin, Sugino Hisako, Liao Yen-Fa, Ishii Hirofumi, Kubozono Yoshihiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Synthesis of the extended phenacene molecules, [10]phenacene and [11]phenacene, and their performance in a field-effect transistor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-39899-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Yuxin Guo, Kaito Yoshioka, Shino Hamao, Yoshihiro Kubozono, Fumito Tani, Kenta Goto, and Hideki Okamoto	4. 巻 10
2. 論文標題 Facile synthesis of picenes incorporating imide moieties at the both edges of the molecule and their application to n-channel field-effect transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 3154-31552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ra06629j	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Niko Fioravanti, Luca Pierantoni, Davide Mencarelli, Claudio Turchetti, Shino Hamao, Hideki Okamoto, Hidenori Goto, Ritsuko Eguchi, Akihiko Fujiwara, and Yoshihiro Kubozono	4. 巻 11
2. 論文標題 Fabrication of ring oscillators using organic molecules of phenacene and perylene dicarboximide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 7538-7551
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ra00511a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yanting Zhang, Ritsuko Eguchi, Shino Hamao, Kenta Goto, Fumito Tani, Minoru Yamaji, Yoshihiro Kubozono, and Hideki Okamoto	4. 巻 57
2. 論文標題 Photochemical synthesis and device application of acene-phenacene hybrid molecules, dibenzo[n]phenacenes (n = 5-7)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 4768-4771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1cc01294k	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Hideki Okamoto
2. 発表標題 Synthesis, Electronic Spectra, and Transistor Application of -Extended Phenacenes
3. 学会等名 International Conference on Photocatalysis and Photoenergy 2019 (ICoPP2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki Okamoto
2. 発表標題 Photochemical synthesis of phenacenes and the application to OFET devices
3. 学会等名 The 3rd OU-SKKU Bilateral Symposium on Photofunctional Materials and Nanointerfaces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minoru Yamaji, Hideki Okamoto, Kenta Goto, Fumito Tani
2. 発表標題 Blue fluorescence from N,O-coordinated BF ₂ complexes having aromatic chromophores in solution and solid state
3. 学会等名 The 12th Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小笹景子, 浜尾志乃, 久保園芳博, 郷田慎, 岡本秀毅
2. 発表標題 高性能有機半導体材料の開拓を指向する3,12-ジテトラデシル[7]フェナセンの合成
3. 学会等名 第30回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡海渡, 郭玉金, 浜尾志乃, 久保園芳博, 岡本秀毅
2. 発表標題 末端にイミドを導入したピセン誘導体の合成研究
3. 学会等名 第30回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小笹景子, 浜尾志乃, 久保園芳博, 岡本秀毅
2. 発表標題 高性能FET材料開拓を目指した長鎖アルキル基を有する 拡張フェナセンの合成
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡海渡, 郭玉金, 浜尾志乃, 久保園芳博, 岡本秀毅
2. 発表標題 ピセンジイミド誘導体の合成とn-型半導体特性
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuxin Guo, Kaito Yoshioka, Yoshihiro Kubozono, Shino Hamao, and Hideki Okamoto
2. 発表標題 Photochemical Synthesis of Diimide Derivatives of Picene as Potential n-type OFET Material
3. 学会等名 9th Annual Basic Science International Conference 2019 (BaSIC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minoru Yamaji, Hideki Okamoto, Kenta Goto, Fumito, Tani
2. 発表標題 Photophysical features of naphthols having esters, formyl and acetyl groups and the difluoroboronated complex in solution and the solid state
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本秀毅, 久保園芳博, 浜尾志乃, 郷田 慎, 杉野久子, 山路 稔
2. 発表標題 共役拡張フェナセンの光環化による合成と電子スペクトル特性
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideki Okamoto
2. 発表標題 Photochemical synthesis and electronic spectra of extremely π -extended phenacenes
3. 学会等名 The 11th Japan-Taiwan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minoru Yamaji, Hideki Okamoto, Kenta Goto and Fumito Tani
2. 発表標題 Photophysical features of naphthols having esters, formyl and acetyl groups and the difluoroboronated complex in solution and the solid state
3. 学会等名 The 11th Japan-Taiwan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本秀毅
2. 発表標題 光環化反応を用いる長大な 共役拡張フェナセンの合成とスペクトル特性
3. 学会等名 2018年有機光化学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山路 稔, 岡本秀毅, 務台俊樹, 吉川 勲, 北條博彦, 谷 文都
2. 発表標題 ジフェニルフェナンスリルエテンから光環化反応により生成するベンゼン環7つからなる縮環化合物の研究
3. 学会等名 2017年光化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋晴彦, 岡本秀毅
2. 発表標題 Wittig反応-Mallory光環化シーケンシャルフロー合成によるフェナセン骨格の簡便かつ系統的な構築
3. 学会等名 第28回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideki Okamoto, Yoshihiro Kubozono, and Minoru Yamaji
2. 発表標題 Synthesis of π -extended phenacenes by photocyclization of diarylethenes and their transistor application
3. 学会等名 2017 Global Research Efforts on Energy and Nanomaterials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋晴彦, 岡本秀毅
2. 発表標題 連続光フロー反応によるフェナセンの簡便合成と機能化フェナセンへの展開
3. 学会等名 2017年日本化学会中国四国支部大会鳥取大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuxin Guo, Kaito Yoshioka, Shino Hamao, Yoshihiro Kubozono, Fumito Tani, Kenta Goto, Hideki Okamoto
2. 発表標題 Photochemical Synthesis of Picones Incorporating Imide Moieties at the both Edges of the Molecule and their Application to n-Channel Field-Effect Transistors
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小笹景子, 浜尾志乃, 久保園芳博, 谷 文都, 五島健太, 岡本秀毅
2. 発表標題 長鎖アルキル基を有する 拡張フェナセンの合成: 高性能FET材料の開拓
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中塚智子, 岡本秀毅
2. 発表標題 両端にドナーおよびアクセプター置換基を有する[7]ヘリセン誘導体の合成および電子スペクトル
3. 学会等名 2020年Web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山路 稔, 岡本秀毅, 加藤真一郎
2. 発表標題 マルチクロモファー化による芳香族分子の発光特性への影響
3. 学会等名 2020年Web光化学討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Hideki Okamoto	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 332
3. 書名 Physics and Chemistry of Carbon-Based Materials (Yoshihiro Kubozono Ed.) (Chap. 7 Organic Chemistry of π -Conjugated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Acenes and Phenacenes)	

1. 著者名 Hideki Okamoto and Yoshihiro Kubozono	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Pan Stanford Publishing Pte. Ltd.	5. 総ページ数 218
3. 書名 Light-Active Functional Organic Materials (Hiroko Yamada and Shiki Yagai Eds.) (Chap. 10 Photochemical Synthesis of Phenacenes and Their Application to Organic Semiconductors)	

1. 著者名 岡本秀毅, 久保園芳博	4. 発行年 2017年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 528
3. 書名 5) 「プリンテッド・エレクトロニクスに向けた材料、作製プロセス技術の開発と最新事例」 [第3章, 高移動度な有機半導体材料の開発, 第3節「光フロー反応を用いた高次フェナセンの効率的合成と有機半導体トランジスタへの応用」]	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山路 稔 (Yamaji Minoru) (20220361)	群馬大学・大学院理工学府・准教授 (12301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	久保園 芳博 (Kubozono Yoshihiro) (80221935)	岡山大学・異分野基礎科学研究所・教授 (15301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
台湾	National Tsing Hua University			
イタリア	Universita Politecnica della Marche			